

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2022.1.244419>  
УДК 551.311.231:(553.612.08:549.623.9)](477.42)

Ю.В. КРОШКО\*, М.С. КОВАЛЬЧУК

Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна  
E-mail: ykrosh.79@ukr.net; kms1964@ukr.net

\* Автор для кореспонденції

## СТРУКТУРНО-ЛІТОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ТУРБІВСЬКОГО РОДОВИЩА ЕЛЮВІАЛЬНИХ КАОЛІНІВ

Узагальнено матеріали по Турбівському родовищу елювіальних каолінів, яке знаходиться у Вінницькому районі Вінницької області поблизу с.м.т. Турбів і входить до складу Глухівецько-Турбівського каолінового району. На підставі координат і опису свердловин досліджено рельєф підшви і поверхні покладу елювіальних каолінів, а також латеральну зміну їх товщини. Встановлено, що рельєф поверхні та товщина кори вивітрювання погано корелюються між собою та зумовлені історією геолого-геоморфологічного розвитку території, зокрема розвитком середньооценової, міоценової та сучасної гідросток, у результаті розвитку яких кора вивітрювання була частково розмита. Наведено дані про вертикальну зональність кори вивітрювання і речовинний склад її зон. З'ясовано, що переходи між зонами не чіткі, іноді окремі зони відсутні, а профіль кори вивітрювання, літологічний склад її зон визначаються петротипом кристалічних порід фундаменту, їх мінеральним складом та ступенем гіпергенного перетворення. Охарактеризовано речовинний склад елювіальних каолінів. За результатами опробування свердловин та хімічного аналізу каолінів досліджено латеральний розподіл вмістів оксидів заліза, алюмінію, титану та білизни. З'ясовано, що просторовий розподіл показника білизни на території родовища коливається в широких межах і корелюється з вмістами  $Fe_2O_3$  та  $TiO_2$  або ж одного із зазначених оксидів. Встановлено, що на більшій частині території родовища вміст  $Al_2O_3$  чітко корелюється з показником білизни, тобто ділянкам з високим вмістом  $Al_2O_3$  відповідають ділянки з високими показниками білизни і навпаки. Досліджено вертикальний розподіл вмістів оксидів заліза, алюмінію, титану та білизни у межах окремих свердловин. Встановлено, що показник білизни має пряму кореляцію з вмістом  $Al_2O_3$  і переважно обернену — з  $Fe_2O_3$  та  $TiO_2$  або з одним із оксидів. Наведено відомості про вміст оксидів заліза та білизни каолінів у межах різних ділянок надрокористування. З'ясовано, що каоліни збагачені цирконом, ільменітом, монацитом та рідкісноземельними елементами, які можуть бути вилучені при розробці родовища та збагаченні каоліну. Зроблено висновок про комплексність Турбівського родовища елювіальних каолінів. На підставі аналізу різночасових космічних знімків досліджено динаміку зміни площі порушеного геологічного середовища внаслідок видобування елювіальних каолінів протягом 1990—2020 рр.

**Ключові слова:** Вінницька область; Турбівське родовище; елювіальні каоліни; геологічна будова; структурно-літологічна модель; різночасові космознімки; порушене геологічне середовище.

Цитування: Крошко Ю.В., Ковальчук М.С. Структурно-літологічна модель Турбівського родовища елювіальних каолінів. *Геологічний журнал*. 2022. № 1 (378). С. 50—61. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2022.1.244419>  
Citation: Kroshko Yu.V., Komalchuk M.S. 2022. Structural and lithological model of the Turbiv deposit of eluvial kaolins. *Geologičnij žurnal*, 1 (378): 50-61: <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2022.1.244419>

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2022. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, 2022. This is an open access article under the CC-BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

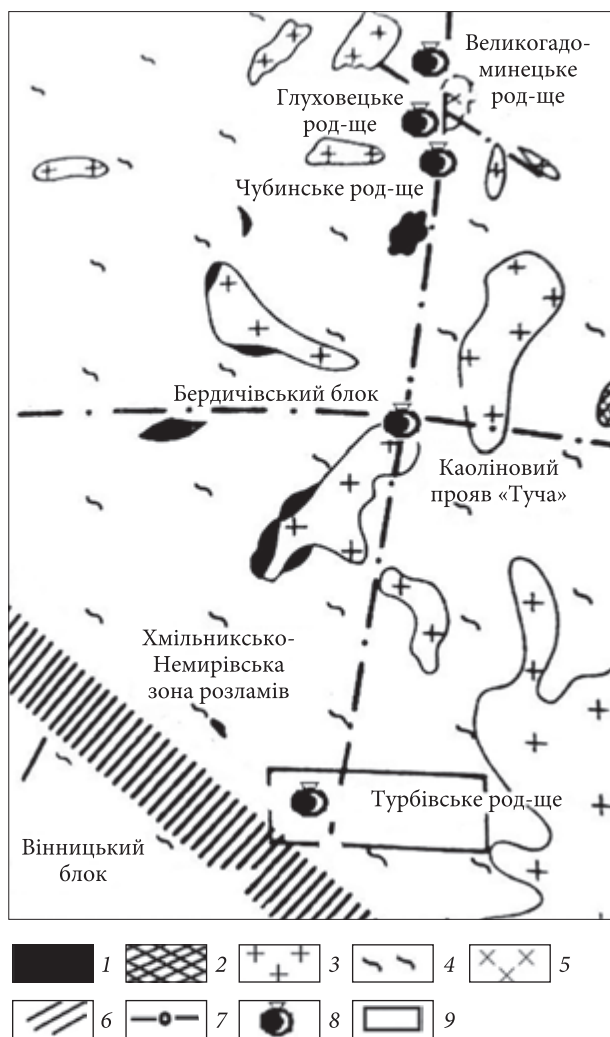
## Вступ

З мезозойським комплексом кір вивітрювання кристалічних порід фундаменту у межах Вінницької області пов'язані унікальні за запасами та якістю сировини родовища елювіальних каолінів, серед яких є Турбівське родовище, що входить до складу Глухівецько-Турбівського каолінового району, у межах якого знаходяться Великогадоминецьке, Глухівецьке, Жежелівське, Турбівське, Чубинське, Гурінське, Туча-Миколаївське та інші родовища/рудопрояви (рис. 1). Висока якість Турбівського каоліну привернула до себе увагу ще на початку ХХ ст., коли в 1903—1907 рр. одеський купець Ушер Сігал організував перший в Україні фарфоро-фаянсовий завод з виробництва керамічних виробів у м. Славута на Волині (нині — Хмельницька область), де і був випробуваний Турбівський каолін. З 1909 р. каолін з Турбівського родовища постачався на завод у Славуті (зараз — Славутський комбінат «Будфарфор» з ТМ «Colombo», концерну «Geberit Group» зі штаб-квартирою в Швейцарії) (Повідомлення про плановану діяльність..., 2021). З цього часу і починається промислове видобування каоліну поблизу Турбова.

Турбівське родовище елювіальних каолінів знаходиться в межах Подільської каолінової субпровінції Глухівецько-Турбівського каолінового району. В адміністративному відношенні родовище розташоване у межах Вінницького району Вінницької області поблизу с.м.т. Турбів (рис. 2). Розробляється родовище з 1912 р. Елювіальний каолін (каолін-сирець) використовувався для виробництва каолінового концентрату (збагаченого каоліну) та кварцового піску. За петротипом материнських порід, гіпсометричним положенням кори вивітрювання, її товщиною у межах родовища виокремлюють окремі ділянки. Зокрема, виокремлено вісім ділянок (рис. 3), з яких на сьогоднішній день ділянки № 1—4 та ділянка № 6 вже відпрацьовані, а ділянка № 8 відпрацьована частково (Сонкин и др., 1973).

У березні 2021 р. було оприлюднено повідомлення про продовження видобування первинного каоліну на ділянці № 8 Турбівського родовища у Вінницькому (Липовецькому) районі Вінницької області. За якісними показниками збагачений каолін відповідає вимогам ТУ

У 08.1-05474145-001:2013 «Каолін збагачений Турбівського родовища» і використовується для виробництва санітарної кераміки, як наповнювач при виробництві гуми, пластмас, картону, паперу та деяких інших матеріалів (Звіт з оцінки впливу на довкілля..., 2021).



**Рис. 1.** Оглядова структурно-петрографічна карта-схема. Масштаб 1:500 000 (за матеріалами К. Тяпкіна, А. Козлової та ін.). Умовні позначення: 1 — гнейси; 2 — основні та ультраосновні породи; 3 — апліт-пегматоїдні граніти, чарнокіти; 4 — мігматити подільського комплексу; 5 — граніти кіровоградські; 6 — міжблокові розломи; 7 — внутрішньоблокові розломи; 8 — родовища каолінів; 9 — Турбівське родовище

**Fig. 1.** Overview structural-petrographic map-scheme. Scale 1:500 000 (according to K. Tyapkin, A. Kozlova et al.). Symbols: 1 — gneisses; 2 — basic and ultrabasic rocks; 3 — aplite-pegmatoid granites, charnokites; 4 — migmatites of the Podolsky complex; 5 — Kirovograd granites; 6 — interblock faults; 7 — intra-block faults; 8 — kaolin deposits; 9 — Turbiv deposit

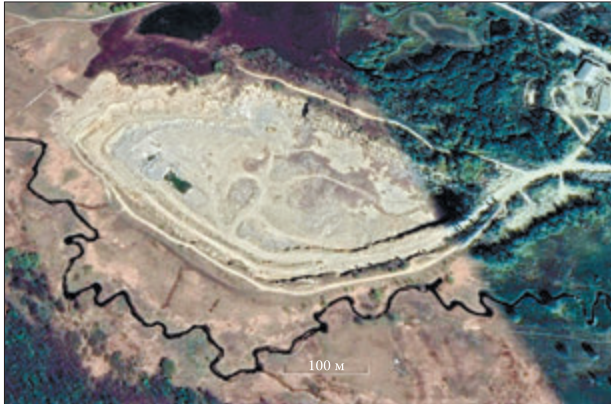


Рис. 2. Розташування кар'єру Турбівського родовища на космічному знімку з порталу Google Earth

Fig. 2. Location of the quarry of the Turbiv deposit in a space image from the Google Earth portal

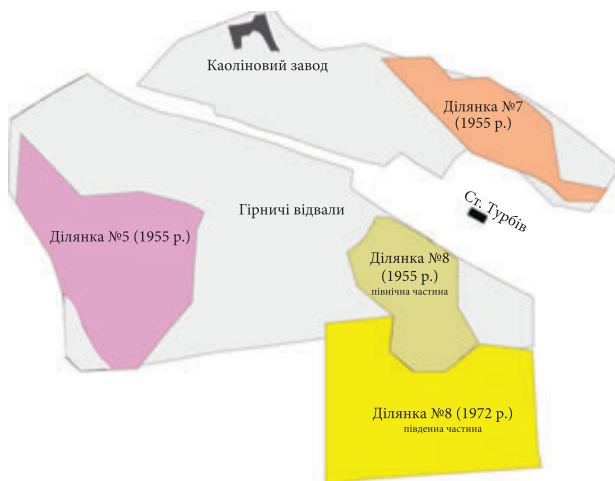


Рис. 3. Схема розміщення ділянок Турбівського родовища елювіальних каолінів (побудовано за матеріалами (Сонкин и др., 1973))

Fig. 3. Location scheme of areas of the Turbiv eluvial kaolin deposit (compiled from the materials of (Sonkin et al., 1973))

Кварцовий пісок, що утворюється при збагаченні каолінів, після очищення та фракціонування використовується в якості фільтрувального матеріалу для очищення питної води, в будівельній індустрії та для інших потреб (Звіт з оцінки впливу на довкілля..., 2021). Каоліни родовища можуть бути використані для виготовлення метакаоліну — модифікуючої добавки, що вводиться до складу цементних розчинів та бетонів (Михайлюта и др., 2011).

Залишок балансових запасів первинних каолінів на ділянці № 8 Турбівського родовища станом на 01.01.2021 р. складає 4358,7 тис. т, а

проектна річна продуктивність кар'єру з видобування каоліну-сирцю — 282 тис. т (Звіт з оцінки впливу на довкілля..., 2021).

У даний час Турбівський каоліновий завод — провідне гірничодобувне підприємство України, яке займається розробкою родовища, видобуванням і продажем каолінів збагачених і кварцових пісків. Турбівське родовище каолінів — одне з найбільших у Центральній і Східній Європі (Історія Турбівського каолінового заводу, 2021).

Мета публікації полягає в узагальненні фактичного матеріалу по геологічній будові Турбівського родовища елювіальних каолінів, висвітленні результатів дослідження структури й якості покладу та ретроспективного моніторингу зміни площі порушеного геологічного середовища, спричиненого розробкою родовища.

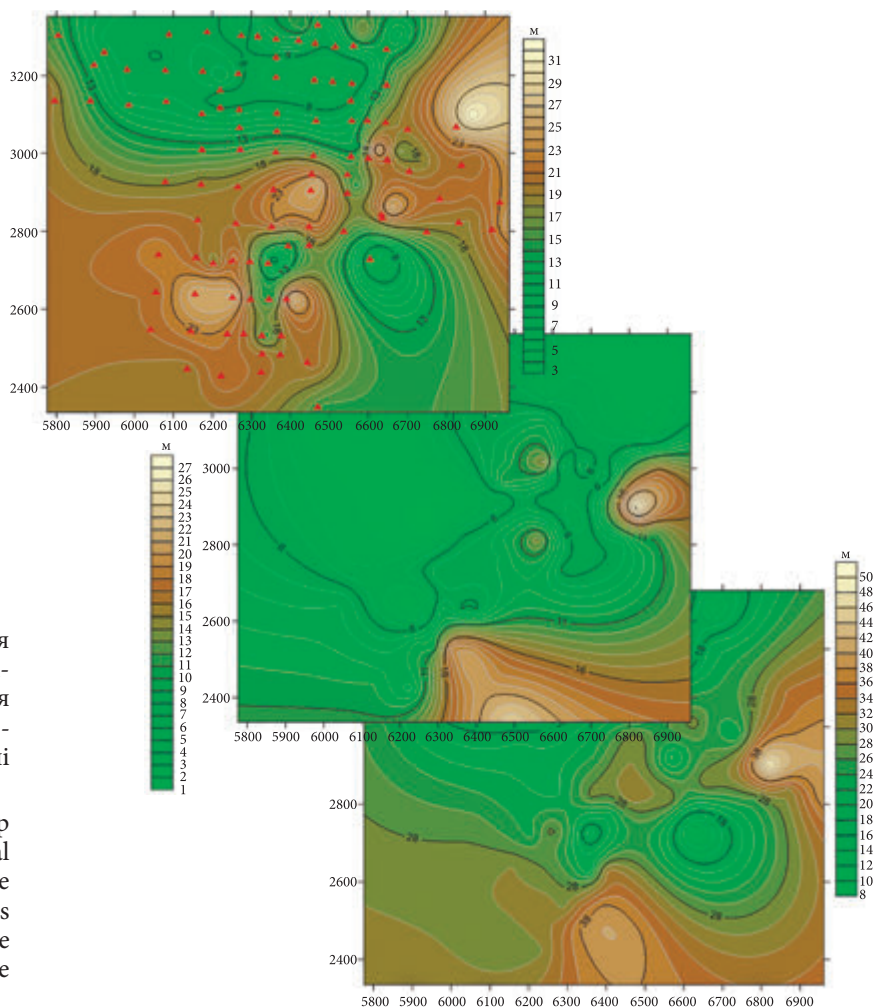
Отримані результати, зважаючи на викладене вище, є новими, актуальними і можуть бути використані в якості інформаційної бази для загальної характеристики Турбівського родовища, супроводу видобувних робіт і оцінки впливу на довкілля.

## Матеріали та методи дослідження

Авторами опрацьовано та узагальнено матеріали виробничих звітів, наукових публікацій. Картографічні побудови щодо структури та якості покладу здійснено на основі даних координат, опису й опробування свердловин, результатів хімічного аналізу каолінів. Для визначення тренду зміни площі порушеного геологічного середовища у межах кар'єрного поля були використані різночасові космічні знімки з порталу геологічної служби США (USGS — United States Geological Survey, 2021). До опрацювання залучено космознімки із систем Landsat 4-5, Sentinel 2, які мають формат GeoTiff та просторову прив'язку в системі координат WGS-84. Опрацювання космознімків та вимірювання площі порушеного геологічного середовища було здійснено у програмному середовищі QGIS 3.16.

## Результати досліджень

У геологічній будові Турбівського родовища елювіальних каолінів задіяні докембрійські інтрузивно-метаморфічні утворення, мезозой-



**Рис. 4.** Карта взаємовідношення ізоліній поверхні підшови каолінітової зони кори вивітрювання (вверху), ізоліній товщини (у центрі) та ізоліній поверхні покрівлі каолінітової зони (унизу)

**Fig. 4.** Rad Map of the relationship between the isolines of the basal surface of the kaolinite zone of the weathering crust (*upper*), the isolines of the thickness (*central*) and the isolines of the roof surface of the kaolinite zone (*lower*)

кайнозойська кора вивітрювання і пухкі осадові утворення кайнозою (середньоеоценові, нижньонеоенові, четвертинні).

У межах Турбівського родовища первинних каолінів кора вивітрювання докембрійських порід фундаменту локалізована у тектонічному вузлі, що утворений перетином двох розломів — Глухівецького і Хмельницько-Немирівського (Сонкин, 1971). Трищинуватість і катаклаз порід кристалічного фундаменту сприяли інтенсивному їх вивітрюванню.

Материнськими породами для кори вивітрювання були породи подільського чарнокітового комплексу (граніти і мігматити, апліто-пегматоїдні граніти) і бузької серії гнейсів (біотитові гнейси) (Лавров, 1964; Сонкин, 1971; Сонкин и др., 1973). Переважають чудново-бердичівські граніти і мігматити, в які фрагментарно вкорінені тіла апліто-пегматоїдних гранітів і гнейсів.

У межах родовища кора вивітрювання поширена майже повсюдно (лише на окремих не-

величких ділянках вона відсутня або ж товщина її незначна).

Залягає кора вивітрювання під товщею осадових порід (піски, глини, суглинки) товщиною 0,5—21,4 м (Сонкин и др., 1973). За морфологічними особливостями кора вивітрювання належить до змішаного лінійно-площового типу. Товщина кори вивітрювання сягає 2,6—43,5 м (Лавров, 1964; Сонкин, 1971; Сонкин и др., 1973).

Рельєф підшови кори вивітрювання відображає структуру кристалічного фундаменту. Товщина каолінів здебільшого корелюється з рельєфом їх підшови, зокрема ділянки значної товщини каолінів просторово збігаються з підвищеними ділянками їх підшови (рис. 4). Рельєф поверхні і товщина кори вивітрювання погано корелюються між собою та зумовлені історією геолого-геоморфологічного розвитку території, зокрема розвитком середньоеоценової, міоценової та сучасної гідросіток, у резуль-

таті розвитку яких кора вивітрювання була частково розмита.

На ділянці № 5, яка знаходиться у зоні впливу заводу та природоохоронної зони, кора вивітрювання утворилася в результаті вивітрювання здебільшого чудново-бердичівських мігматитів; на ділянці № 7, що частково забудована с.м.т. Турбів та входить до санітарно-захисної зони міста, — гранат-біотитових мігматитів; на ділянці № 8, котра частково відпрацьована (північна її частина), — чудново-бердичівських гранітів і мігматитів. Товщина первинних каолінів на ділянці № 5 становить 1,2—17,3 м; на ділянці № 7 — 3,8—22,9 м; на ділянці № 8 — 2,0—37,5 м, а в межах її південної частини — до 43,5 м (Сонкин и др., 1973).

Кора вивітрювання характеризується вертикальною зональністю, яка налічує три зони (знизу вверху): перша — дезінтеграції і вилугування; друга — початкового гідролізу (каолініт-гідрослюдиста); третя — кінцевого гідролізу та окиснення продуктів вивітрювання (каолінітова).

Профіль кори вивітрювання, літологічний склад її зон визначаються петротипом кристалічних порід фундаменту, їх мінеральним складом та ступенем гіпергенного перетворення. Завдяки подібному мінеральному складу кристалічних порід речовинний склад кори вивітрювання більш-менш однорідний, з деякими відмінностями.

Кора вивітрювання, що утворилася внаслідок розкладання гранітів і мігматитів, у своєму профілі має чітко виражені три зони, в той час як кора вивітрювання, котра сформувалася у результаті вивітрювання апліто-пегматоїдних гранітів, має добре виражені першу і третю зони та слабо розвинуту зону початкового гідролізу (Сонкин, 1971; Сонкин и др., 1973). Окрім цього, в корі вивітрювання апліто-пегматоїдних гранітів зона початкового гідролізу часто представлена лужними каолінами (Сонкин и др., 1973).

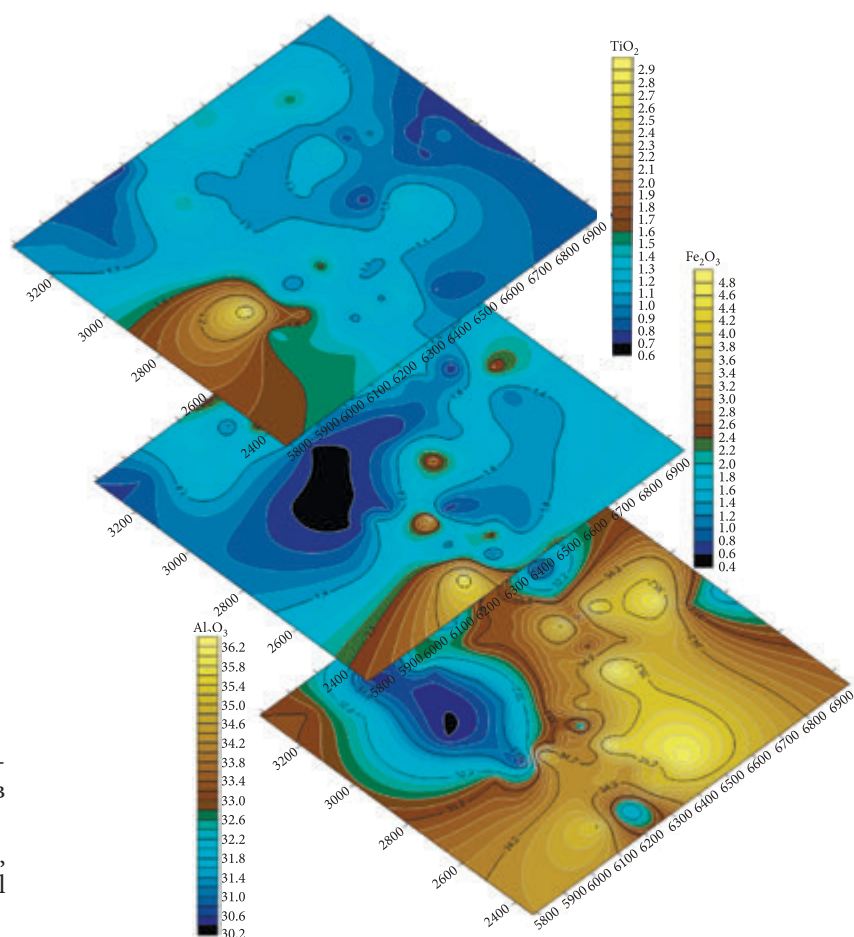
Переходи між зонами не чіткі. Іноді окремі зони відсутні у розрізі внаслідок розмивання у більш пізній час. Подекуди у геологічному розрізі наявні потовщення окремих зон.

Зона дезінтеграції і вилугування поширена повсюдно. У нижній частині зони породи тріщинуваті, щербенисті та зберігають структуру порід субстрату. Товщина цієї зони сягає до

18,1 м (Сонкин и др., 1973). У верхній частині зони різко зростає кількість гіпергенних мінералів. Породи тут представлені глинисто-щербенистими утвореннями та каолінізованою жорсткою. Товщина цієї підзони становить до 14,1 м (Сонкин и др., 1973). Серед гіпергенних новоутворень діагностовано каолініт, галуазит, гідробіотит, нотроніт, гідроксиди заліза (Сонкин, 1971; Сонкин и др., 1973).

Зона початкового гідролізу представлена пухкими, строкатоколірними глинистими породами. Зона не повсюдно поширена на родовищі. Товщина зони сягає до 15,2 м, а на ділянка вивітрювання апліто-пегматоїдних гранітів — до 0,2 м (Сонкин, 1971; Сонкин и др., 1973; Высоцкая, 1983). Тут домінують гіпергенні новоутворення. Найбільша товщина зони початкового гідролізу встановлена на ділянках, що не зазнали інтенсивної денудації (схилах палеорельєфу і вододілах). У складі порід гіпергенні мінерали переважають над реліктовими. Серед гіпергенних новоутворень діагностовано каолініт, галуазит, гідробіотит, нотроніт, гетит, гідрогетит, хлорит, опал (Сонкин и др., 1973).

Зона кінцевого гідролізу та окиснення продуктів вивітрювання поширена спорадично і утворює окремі ділянки, які відмежовані одна від одної. У цій зоні виокремлено дві підзони: підзона лужних каолінів (біла, жовто-біла щільна порода; товщина — до 12,5 м) і підзона нормальних каолінів (біла глиниста порода із сірими, жовтими, буро-жовтими плямами; товщина — до 37,5 м) (Сонкин, 1971; Сонкин и др., 1973; Высоцкая, 1983). Межа між підзонами не чітка і визначається за наявністю різкої зміни вмісту  $K_2O$  у піщаному залишку порід (Сонкин и др., 1973). Найбільш поширена товщина елювіальних каолінів 3—6 м. На межі зони початкового гідролізу і зони кінцевого гідролізу та окиснення продуктів вивітрювання іноді наявні неправильної форми тіла (товщиною 2,8—12,6 м) пеліканітизованих порід (переважають) та пеліканітів (Сонкин и др., 1973; Высоцкая, 1983). Серед гіпергенних новоутворень діагностовано каолініт, монтморилоніт, гідрогетит, гетит, нотроніт, галуазит, гідрослюди, сидерит (Сонкин и др., 1973). Вміст каолініту залежить від речовинного складу материнських порід кристалічного фундаменту та змінюється від 50 до 95 % (Сонкин и др.,



**Рис. 5.** Просторовий розподіл вмістів оксидів  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  та  $\text{TiO}_2$  в товщі елювіальних каолінів

**Fig. 5.** Spatial distribution of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and  $\text{TiO}_2$  oxides in the eluvial kaolin layer

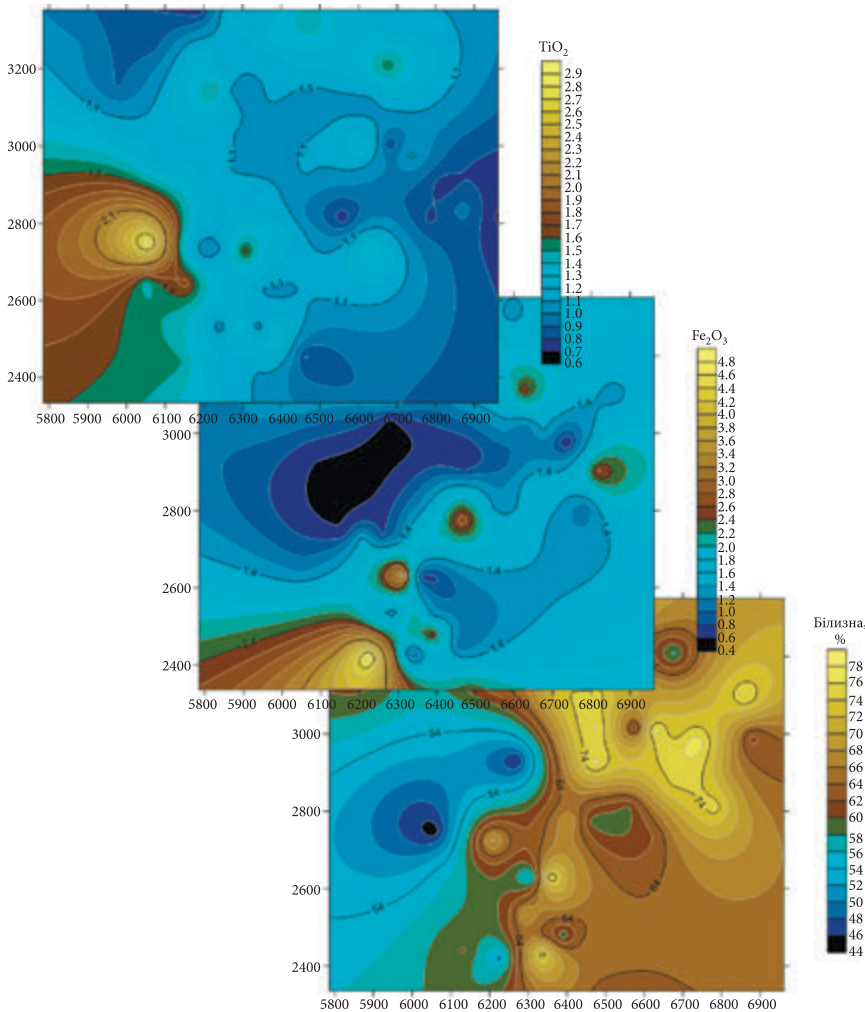
1973; Высоцкая, 1983). Гідроксиди заліза, які утворилися внаслідок вивітрювання темноколірних мінералів, забарвлюють породу у вохристі відтінки, які поширені плямами. Вміст гідроксидів заліза в окремих випадках становить 73 % (Сонкин и др., 1973; Высоцкая, 1983). На ділянках зі значним вмістом гідроксидів заліза порода складається з коломорфних утворень жовто-бурого гідрогетиту. Вміст зерен кварцу в каоліні досягає 40—50 %; розмір їх зерен здебільшого 1,0—1,5 мм (Сонкин и др., 1973). Майже не зазнали вивітрювання циркон, монацит, апатит, гранат, сфен, ільменіт (Сонкин и др., 1973; Высоцкая, 1983).

Якість каолінів та їх фізико-хімічні властивості, що визначають область можливого використання, залежать перш за все від мінерально-петрографічного складу та структурно-текстурних особливостей материнських порід, а також від ступеня та глибини їх вивітрювання і гіпергенного мінералоутворення.

Незбагачений каолін являє собою середньої щільності глинисту породу білого, кремового

забарвлення, місцями буро-жовтого (за рахунок гідроксидів заліза), що складена переважно каолінітом та кварцом. Каолініт представлений двома різновидами: тонколускуватий, пелітоморфний, що утворився внаслідок розкладання плагіоклазу, та крупнолускуватий, вермікулітоподібний, що утворився в результаті розкладання біотиту (Сонкин и др., 1973; Высоцкая, 1983). Хімічний склад незбагаченого каоліну такий (%):  $\text{SiO}_2$  — 51,85—66,50;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 22,42—32,18;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 0,04—2,22;  $\text{FeO}$  — 0,07—1,40;  $\text{TiO}_2$  — 0,80—2,33;  $\text{Na}_2\text{O}$  — 0,0—0,12;  $\text{K}_2\text{O}$  — 0,2—1,65 (Рудько та ін., 2015).

Збагачений каолін містить каолініт (90—95 %), токодисперсний кварц (до 10 %), гідрослюду (до 1,0 %), лейкоксеновану речовину (до 2,0 %). Фракції каоліну менше 0,001 мм містять домішку метагалуазиту у кількості 10—15 % і, як правило, не містять домішки кварцу (Рудько та ін., 2015). У лужних колінах діагностовано дрібні зерна мікрокліну (до 6,0 %). Хімічний склад збагаченого каоліну такий (%):  $\text{SiO}_2$  — 39,55—53,87;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 28,72—40,39;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  —



**Рис. 6.** Просторовий розподіл вмістів  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  та  $\text{TiO}_2$  і показника білізни в елювіальних каолінах

**Fig. 6.** Spatial distribution of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and  $\text{TiO}_2$  and the whiteness in eluvial kaolins

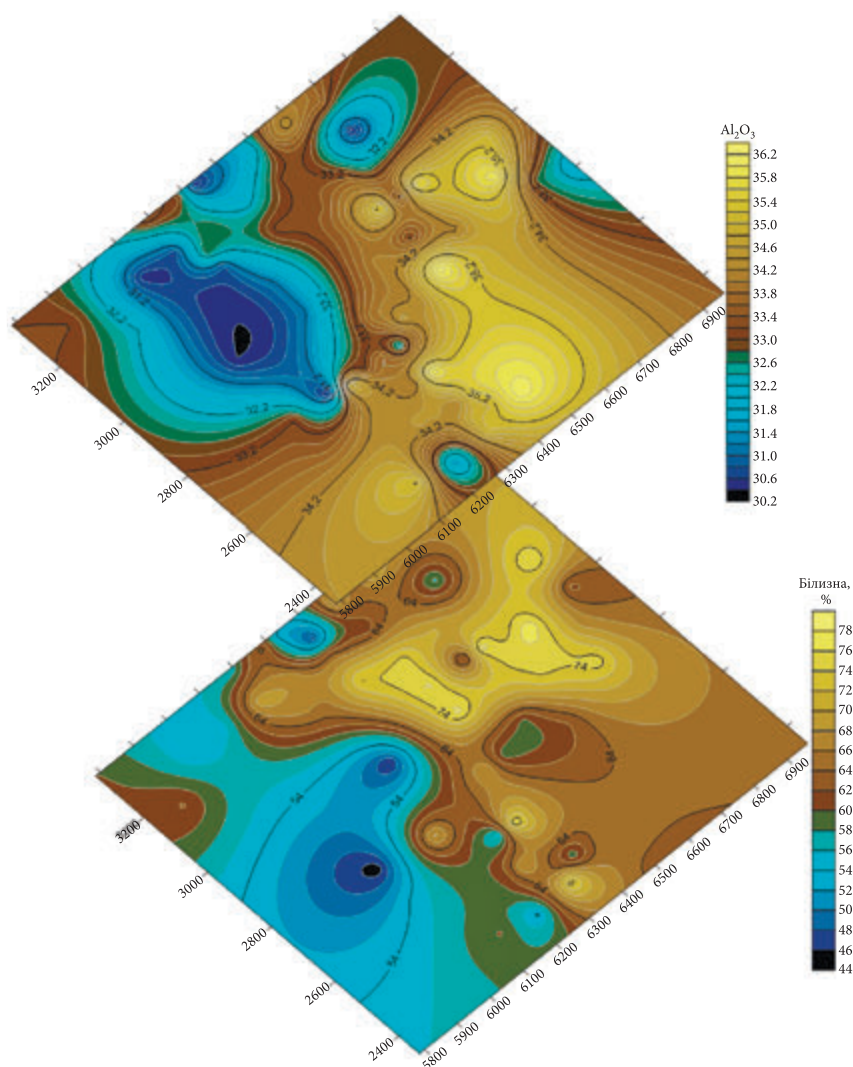
0,55—2,59;  $\text{TiO}_2$  — 0,31—2,16;  $\text{Na}_2\text{O}$  — 0,0—0,12 (Рудько та ін., 2015).

До шкідливих домішок у каолінах належать залізо та титан. Головним джерелом цих елементів є залізо- та титановмісні мінерали, які входять до складу материнських порід та присутні в каолінах у вигляді залишкових та гіпергенних мінералів. У зв'язку з цим нами досліджено латеральний розподіл вмістів оксидів  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  та  $\text{TiO}_2$  в товщі елювіальних каолінів, який представлено на рис. 5. Встановлено, що ні прямої, ні оберненої кореляції між зазначеними оксидами у межах родовища немає. Іноді на окремих ділянках існує дуже слабка пряма чи обернена кореляція.

Результати просторового розподілу вмістів  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  та  $\text{TiO}_2$  і показника білізни (визначає їх придатність для певних галузей промисловості) в елювіальних каолінах наведено на рис. 6. З'ясовано, що просторовий розподіл показни-

ка білізни у межах родовища коливається в широких межах і корелюється з вмістами  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  та  $\text{TiO}_2$  або ж одного із зазначених оксидів (оскільки не завжди наявна кореляція між цими оксидами). Зокрема, каоліни мають такі показники (%): на ділянці № 5 — білізну 72—84 (переважає 74—78) та високі вмісти заліза 0,4—6,7 (здебільшого 1,0—2,0); на ділянці № 7 — білізну 76—93 (домінує 86—89) та не дуже високі вмісти оксиду заліза — 0,5—3,4 (переважає 0,8—1,1); на ділянці № 8 — відносно невисоку білізну 44—97 (здебільшого 70—80) та високі вмісти оксиду заліза — 0,18—8,36 (домінує 0,8—1,6) і двоокису титану — 0,3—2,57 (переважає 0,8—1,2) (Сонкин и др., 1973; Высоцкая, 1983).

Більш чітка латеральна кореляція встановлена між вмістом  $\text{Al}_2\text{O}_3$  та показником білізни. З'ясовано, що на більшій частині території родовища вміст  $\text{Al}_2\text{O}_3$  чітко корелюється з показ-



**Рис. 7.** Просторовий розподіл вмісту  $\text{Al}_2\text{O}_3$  та показника білизни в елювіальних каолінах  
**Fig. 7.** Spatial distribution of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and whiteness in eluvial kaolins

ником білизни, тобто ділянкам з високим вмістом  $\text{Al}_2\text{O}_3$  відповідають ділянки з високими показниками білизни і навпаки — ділянкам з низьким вмістом  $\text{Al}_2\text{O}_3$  відповідають ділянки з низькими показниками білизни (рис. 7).

Дослідження розподілу вмістів оксидів заліза, алюмінію, титану та показника білизни каолінів у вертикальному перетині окремих свердловин показало переважно прямий кореляційний зв'язок показника білизни із  $\text{Al}_2\text{O}_3$  і обернений — із  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  та  $\text{TiO}_2$  або ж з одним із цих показників (оскільки концентрації  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  та  $\text{TiO}_2$  мають то прямий, то обернений кореляційний зв'язок). У всіх досліджених свердловинах з глибиною відбувається закономірне зменшення показника білизни і зникає кореляція між оксидами і білизою.

При збільшенні глибини вміст оксиду алюмінію зменшується, а концентрація забарвлю-

ючих та легкоплавких сполук зростає (Колєда та ін., 2012). При збільшенні глибини відбору проб вміст частинок розміром менше 0,063 мм знижується, а якість каолінової руди погіршується (з'являються зерна більшого розміру різних мінералів) (Колєда та ін., 2012).

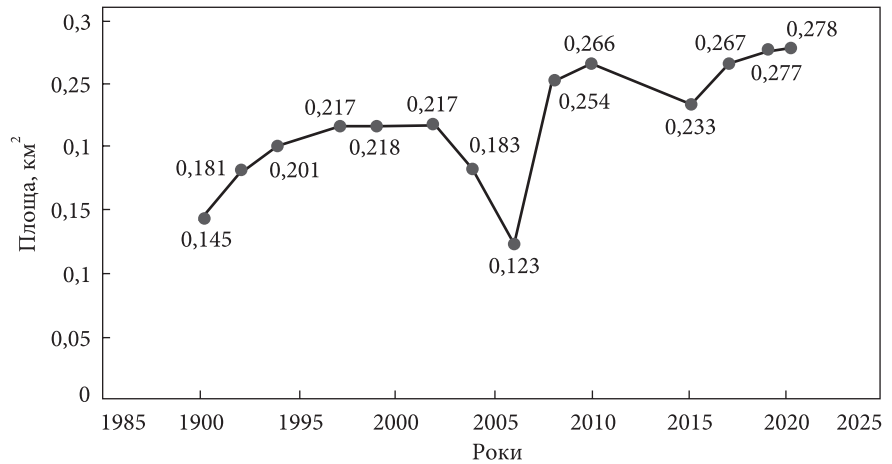
За своєю якістю каоліни Турбівського родовища поділяються на п'ять сортів (вищий, перший, другий, третій і четвертий) (Сонкин Л.С., 1973; Высоцкая, 1983).

У підвищених кількостях у каолініті, який утворився внаслідок вивітрювання чудновобердичівських та рожевих апліто-пегматоїдних гранітів, встановлено монацит, циркон, ільменіт, вмісти яких значно більші у порівнянні з такими материнських порід (Лавров, 1964). Підвищений вміст монациту в корі вивітрювання не є повсюдним, а концентрується в різних за величиною лінзоподібних тілах. Зокре-



**Рис. 8.** Динаміка зміни площі порушеного геологічного середовища, спричиненого видобуванням елювіальних каолінів протягом 1990—2020 рр.

**Fig. 8.** Dynamics of changes in the area of the disturbed geological environment caused by the extraction of eluvial kaolins during 1990-2020



ма, у межах південно-західної стінки кар'єру знаходиться лінзоподібне тіло каолінів з підвищеною гамма-активністю довжиною 250 м і товщиною до 35 м, у якому встановлено підвищені, у порівнянні з іншими каолінами, вмісти монациту (0,1—7 кг/т). У складі монациту виявлено торій у кількості 5—13 % при практично повній відсутності урану, а у складі циркону — скандій від 0,1 до 0,4 % (Лавров, 1964). Окрім монациту, лінзоподібне тіло вміщує зерна циркону (до 1,2 кг/т), ільменіту (до 3,5 кг/т) (Лавров, 1964). Значними є вмісти монациту (до 34 кг/м<sup>3</sup>) і рідкісноземельних елементів (25 %) у монацитовому концентраті з піщаних фракцій відходів Турбівського комбінату (Бент и др., 1993).

Значні вмісти рідкісноземельних елементів встановлено у материнських кристалічних породах чудново-бердичівського комплексу (Лавров, 1964; Высоцкая, 1983). Для встановлення промислових концентрацій рідкісних земель у немінеральних формах з метою подальшого їх вилучення доцільно продовжити дослідження їх вмісту і розподілу у корі вивітрювання та у відходах збагачення діючих каолінових комбінатів (Лепігов, Василенко, 2005).

Враховуючи факт вилучення у минулому з каолінів на збагачувальному комбінаті розсіпних мінералів, наведений фактичний матеріал дозволяє стверджувати, що Турбівське родовище є комплексним. Розроблення родовища із супутнім вилученням розсіпних мінералів та рідкісноземельних елементів може підвищити економічну рентабельність його експлуатації у нинішніх умовах значного зростання попиту на критичну мінеральну сировину.

Турбівське родовище елювіальних каолінів розробляється Турбівським каоліновим заводом з 1955 р. за типовою для каолінових родовищ технологією. Відпрацювання запасів корисної копалини здійснюється відповідно до проекту розробки та рекультивації родовища, з дотриманням передбачених проектом вимог та технології видобування. Складовою частиною супроводжувальних робіт з видобування корисних копалин є моніторинг зміни геологічного середовища, порушеного розробкою родовища. Прослідкувати зміни геологічного середовища в часі дозволяють різночасові космічні знімки. Для з'ясування тренду зміни площі порушеного геологічного середовища у межах Турбівського родовища автори використали різночасові (з 1990 по 2020 р.) космічні знімки з порталу геологічної служби США (USGS — *United States Geological Survey*). До опрацювання були залучені космознімки із систем Landsat 4-5 (14/08/1990, 10/07/1992, 09/08/1994, 02/09/1997, 19/05/1999, 28/06/2002, 20/08/2004, 23/06/2006, 25/04/2008, 01/05/2010), Sentinel 2 (25/08/2015, 04/08/2017, 14/08/2019, 22/09/2020), які мають формат GEO.tiff та просторову прив'язку в системі координат WGS-84. Опрацювання космознімків було здійснено у програмному середовищі QGIS 3.17.

Результати дослідження зміни площі порушеного геологічного середовища впродовж 1990—2020 рр. представлено на рис. 8.

З'ясовано, що протягом 1990—2020 рр. площа порушеного видобуванням каолінів геологічного середовища зросла на 0,133 км<sup>2</sup>. Різне зменшення площі порушеного геологічного середовища встановлено у 2006 р. і незначне —

у 2015 р. Коливання площі порушеного геологічного середовища спричинено різними темпами розробки окремих ділянок на території родовища та окремих площ у межах ділянок, зупинкою чи початком видобувних робіт, з плановими заходами з рекультивациі порушеного геологічного середовища. Зважаючи на те, що спеціальний дозвіл на користування надрами в межах ділянки № 8 діє до 27.08.2032 р., площа порушеного геологічного середовища буде зростати. Видобувні роботи ведуться у відповідності до робочого проекту розробки та річних планів розвитку гірничих робіт. Після відпрацювання запасів корисної копалини передбачена гідротехнічна та біологічна рекультивациа виробленого простору кар'єру під водою з відновленням природного рівня підземних вод, залуженням і залісненням її берегів та інших порушених гірничими роботами земель (Environmental Impact Assessment Report, 2021).

## Висновки

1. Авторами узагальнено інформацію про геологічну будову Турбівського родовища елювіальних каолінів. Турбівське родовище елювіальних каолінів локалізоване у тектонічному вузлі, що спричинило інтенсивне вивітрювання материнських порід кристалічного фундаменту. Впродовж мезозой-кайнозойської епохи, у результаті вивітрювання різних за породним і речовинним складом докембрійських кристалічних порід фундаменту подільського чарнокітового комплексу і бузької серії гнейсів, утворилася кора вивітрювання лінійно-площового морфологічного типу товщиною до 43,5 м. Рельєф підошви кори вивітрювання відображає структуру кристалічного фундаменту, зокрема підвищеним ділянкам кристалічного фундаменту просторово відповідають ділянки значної товщини елювіальних каолінів. Поверхня кори вивітрювання розчленована середньооеценовою, міоценовою та сучасною гідросітками і частково розмита. Профіль кори вивітрювання, літологічний склад її зон обумовлений петротипом кристалічних порід фундаменту, їх мінеральним складом та ступенем гіпергенного перетворення.

2. Охарактеризовано речовинний та якісний склад елювіальних каолінів і його латеральну мінливість. З'ясовано, що якість каолінів визначається петротипом, мінеральним складом і структурно-текстурними особливостями порід, унаслідок вивітрювання яких вони утворилися, а також ступенем та глибиною їх гіпергенних перетворень, наявністю шкідливих домішок оксидів заліза і титану. У результаті цього у межах сформованого родовища поклад елювіальних каолінів має змінну внутрішню будову та невитриману якість корисного компонента як у вертикальному перетині, так і за латераллю. Досліджений латеральний розподіл вмістів оксидів заліза, алюмінію, титану та показника білизни дозволив встановити їх просторові зміни, взаємозалежність та просторовий розподіл параметрів якості сировини. Встановлені закономірності доповнюють інформаційну базу щодо параметрів родовища та якості сировини і дозволяють конкретизувати ділянки високоякісних каолінів у межах родовища.

3. Наявність у корі вивітрювання ільменіту, циркону і монациту у кількості, що перевищує їх вмісти у материнських породах, а також рідкісноземельних елементів в елювіальній товщі та відходах збагачення каолінів дає підстави говорити про Турбівське родовище як комплексне.

4. Досліджено тренд зміни площі порушеного геологічного середовища, спричиненого розробкою родовища впродовж 1990—2020 рр. З'ясовано, що протягом періоду площі порушеного видобуванням каолінів геологічного середовища збільшилася на 0,133 км<sup>2</sup>. Тенденція зростання площі порушеного геологічного середовища буде спостерігатися і в подальшому у зв'язку з продовженням видобування первинного каоліну на ділянці № 8 та можливістю розширення землевідведення для експлуатації родовища.

5. Турбівське родовище елювіальних каолінів є комплексним з унікальною сировиною, що має широкий спектр застосування. Тому роботи з його дослідження та освоєння доцільно продовжувати та селективно і максимально використовувати його мінерально-сировинний потенціал.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Бент О.И., Баклан Ф.Г., Смагин Д.Л. Редкоземельные элементы в акцессорных минералах песчаных отходов. Докл. АН УССР. 1993. С. 115—118.
- Высоцкая З.В. Отчет о доразведке и переоценке Турбовского месторождения каолина за 1981—1982 гг. (Липовецкий район, Винницкая обл., УССР). Новороссийск, 1983.
- Звіт з оцінки впливу на довкілля. Продовження видобування первинного каоліну на ділянці № 8 Турбівського родовища у Вінницькому (Липовецькому) районі Вінницької області. [Електронний ресурс]. [Веб-сайт] — 2021. — Режим доступу до ресурсу: <http://eia.menr.gov.ua/uploads/documents/7500/reports/fBOT9lX0AH.pdf> (дата звернення 03.12.2021) — Назва з екрана.
- Історія Турбівського каолінового заводу [Електронний ресурс]. [Веб-сайт] — 2021. — Режим доступу: <https://tkz-kaolin.com/ukr/about/> (дата звернення 27.07.2021) — Назва з екрана.
- Колєда М.С., Михайлюта О.С. Первинні каоліни Турбівського родовища — перспективна сировина для різних галузей промисловості. Вісн. НТУ «ХПІ». 2012. № 59 (965). С. 114—121.
- Лавров Д.А. Отчет о поисках редких металлов в районе Верхнего Побужья и Приднестровья за 1960—1963 гг. Киев, 1964.
- Лепігов Г.Д., Василенко А.П. Глухівецько-Турбівський рудний вузол (геологічна будова, проблеми вивчення). Мінеральні ресурси України. 2005. № 2. С. 13—15.
- Михайлюта Е.С., Колєда В.В., Алексєєв Е.В. К вопросу влияния механоактивации на свойства метакаолина. Сухие строительные смеси. 2011. № 20. С. 52—53.
- Повідомлення про плановану діяльність, яка підлягає оцінці впливу на довкілля. [Електронний ресурс]. [Веб-сайт] — 2021. — Режим доступу: [http://eia.menr.gov.ua/uploads/documents/7500/reports/hVw\\_d85fe-.pdf](http://eia.menr.gov.ua/uploads/documents/7500/reports/hVw_d85fe-.pdf) (дата звернення 20.03.2021) — Назва з екрана.
- Рудько Г.І., Озерко В.М., Шепель І.В. Геологія і геолого-економічна оцінка родовищ каоліну України: Рудько Г.І. (ред.). Чернівці: Букрек, 2015. 336 с.
- Сонкин Л.С. Отчет по поискам первичных каолинов и составление прогнозных карт района Турбовского месторождения Винницкой области Украинской ССР. 1971.
- Сонкин Л.С., Лужанская Л.Л., Смирнова Л.А. Отчет о доразведке южной площади участка VIII Турбовского месторождения первичных каолинов и переоценке запасов по новым техническим условиям на участках V и VII (Липовецкий район, Винницкая область, УССР). Киев, 1973.
- USGS — United States Geological Survey [Електронний ресурс]. [Веб-сайт] — 2021. — Режим доступу: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата звернення 28.07.2021) — Назва з екрана.

Надійшла до редакції 15.11.2021

Надійшла у ревізованій формі 26.01.2021

Прийнята 26.01.2021

REFERENCES

- Bent, O.I., Baklan, F.G., Smagin, D.L. (1993). Rare earth elements in accessory minerals of sandy waste. *Doklady AN UkrSSR*, 115-118 (in Russian).
- Environmental Impact Assessment Report*. Continuation of primary kaolin extraction at the № 8 site of the Turbivskoye deposit in the Vinnytsia (Lipovets) district of the Vinnytsia region. [Electronic resource]. [Website] — 2021. — Mode of access to the resource: <http://eia.menr.gov.ua/uploads/documents/7500/reports/fBOT9lX0AH.pdf> (accessed 03.12.2021) — Name from the screen. (in Ukrainian).
- History of Turbiv Kaolin Plant* [Electronic resource]. [Website] — 2021. — Access mode: <https://tkz-kaolin.com/ukr/about/> (accessed 27.07.2021) — Name from the screen. (in Ukrainian)
- Koleda, M.S., Mikhailyuta, O.S. (2012). Primary kaolins of the Turbivske deposit are promising raw materials for various industries. *Bulletin of the National Technical University «KhPI»*, 59 (965), 114-121 (in Ukrainian).
- Lavrov, D.A. (1964). Report on the search for rare metals in the Upper Bug region and Transnistria for 1960-1963. Kyiv (in Russian).
- Lepigov, G.D., Vasilenko, A.P. (2005). Glukhivetsko-Turbivsky ore node (geological structure, study problems). *Mineral resources of Ukraine*, 2, 13-15 (in Ukrainian).
- Mikhailyuta, E.S., Koleda, V.V., Alekseev, E.V. (2011). To the question of the influence of mechanoactivation on the properties of metakaolin. *Dry construction mixtures*, 20, 52-53 Novorossiysk (in Russian).
- Notification of planned activities to be assessed for environmental impact*. [Electronic resource]. [Website] — 2021. — Access mode: [http://eia.menr.gov.ua/uploads/documents/7500/reports/hVw\\_d85fe-.pdf](http://eia.menr.gov.ua/uploads/documents/7500/reports/hVw_d85fe-.pdf) (accessed 20.03.2021) — Name from the screen.
- Rudko, G.I., Ozerko, V.M., Shepel, I.V. (2015). Geology and geological and economic assessment of kaolin deposits in Ukraine. (Ed. G.I. Rudko). Chernivtsi, Bookrek (in Ukrainian).
- Sonkin, L.S. (1971). Report on the search for primary kaolin and the compilation of forecast maps of the area of the Turbivske field in the Vinnitsa region of the Ukrainian SSR (in Russian).

- Sonkin, L.S., Luzhanskaya, L.L., Smirnova, L.A. (1973). Report on the additional exploration of the southern area of site VIII of the Turbivske primary kaolin deposit and the reassessment of reserves according to new technical conditions in areas V and VII (Lipovetsky district, Vinnytsia region, Ukrainian SSR). Kyiv, 1973 (in Russian).
- USGS — United States Geological Survey [Electronic resource]. [Website] — 2021. — Access mode: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (accessed 28.07.2021) — Name from the screen.
- Vysotskaya, Z.V. (1983). Report on additional exploration and revaluation of the Turbivske kaolin deposit for 1981-1982. (Lipovetsky district, Vinnytsia region, Ukrainian SSR). Novorossiysk (in Russian).

Received 15.11.2021

Received in revised form 26.01.2021

Accepted 26.01.2021

Yu. V. Kroshko \*, M.S. Kovalchuk

Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine,

E-mail: ykrosh.79@ukr.net; kms1964@ukr.net

\* Corresponding author

#### STRUCTURAL AND LITHOLOGICAL MODEL OF THE TURBIV DEPOSIT OF ELUVIAL KAOLINS

The geological data on the Turbiv deposit of eluvial kaolins, which is located in Vinnytsia district of Vinnytsia region near the village of Turbiv and is a part of Glukhivetsko-Turbivsky kaolin district, were generalized. Based on the coordinates and description of the wells, the topography of the base and surface of the eluvial kaolin deposits, as well as the lateral change in their thickness, was studied. It has been established that the surface relief and the thickness of the weathering crust are poorly correlated with each other and are conditioned by the history of the geological and geomorphological development of the territory, in particular, by the development of the Middle Eocene, Miocene and modern hydrographic networks, as a result of which the weathering crust was partially eroded. Data on the vertical zonality of the weathering crust and the material composition of its zones are presented. It has been established that the transitions between the zones are not clear, sometimes there are no separate zones, and the profile of the weathering crust, the lithological composition of its zones are determined by the petrotype of the basement crystalline rocks, their mineral composition and the degree of hypogene transformation. The material composition of eluvial kaolins is characterized. Based on the results of well testing and chemical analysis of kaolins, the lateral distribution of oxides of iron, aluminum, titanium and whiteness was studied. It has been established that the spatial distribution of the whiteness index within the deposit varies widely and correlates with the contents of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and  $\text{TiO}_2$ , or one of the indicated oxides. It has been established that in most of the deposit area, the content of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  is clearly correlated with the whiteness index, namely, areas with a high content of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  correspond to areas with high whiteness values and vice versa. The vertical distribution of iron, aluminum, titanium oxides and whiteness kaolin within individual wells was studied. It was found that the whiteness index has a direct correlation with the content of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and mainly inverse correlation with  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and  $\text{TiO}_2$ , or with one of the oxides. Information is given on the content of iron oxides and the whiteness of kaolins within different subsoil use areas. Kaolins have been found to be enriched in zircon, ilmenite, monazite and rare earth elements, which can be extracted during field development and kaolin enrichment. The conclusion is made about the complexity of the Turbivsky deposit of eluvial kaolins. Based on the analysis of multi-temporal space images, the dynamics of changes in the area of the disturbed geological environment as a result of the extraction of eluvial kaolins during 1990-2020 was studied.

**Keywords:** Vinnytsia region; Turbiv deposit; eluvial kaolins; geological structure; structural-lithological model; space images at different times; disturbed geological environment.